

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

2 448 417

(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

A1

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

(21)

N° 80 02724

(54)

Procédé de commande automatique du régime technologique de façonnage de surfaces optiques de pièces optiques, dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé et pièces ainsi façonnées.

(51)

Classification internationale. (Int. Cl 3) B 24 B 51/00, 13/00; C 03 C 19/00//G 02 B 1/00.

(22)

Date de dépôt 7 février 1980.

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée : *Demande de brevet déposée en U.R.S.S. le 9 février 1979, n. 2.722.115.*

(41)

Date de la mise à la disposition du
public de la demande

B.O.P.I. — «Listes» n. 36 du 5-9-1980.

(71)

Déposant : INSTITUT KOSMICHESEKIKH ISSLEDOVANY AKADEMII NAUK SSSR,
résidant en U.R.S.S.

(72)

Invention de : Alexandr Mikhailovich Prokhorov, Evgeny Vasilievich Trushin, Eduard Alexandrovich Vitrichenko et Oleg Alexandrovich Evseev.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : Cabinet Z. Weinstein, 20, avenue de Friedland, 75008 Paris.

La présente invention concerne la fabrication de pièces optiques et a notamment pour objet un procédé de commande automatique du régime de façonnage des surfaces optiques de pièces optiques et un dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé.

L'invention peut trouver son application notamment dans la fabrication des éléments optiques de grand encombrement de télescopes, objectifs, lasers, etc.

Il existe un procédé de façonnage de surfaces optiques de forme appropriée (brevet des E.U.A. N°3 587 192, cl. 51-584, 1971), dans lequel la surface fixe à usiner est conventionnellement divisée en une série de zones élémentaires, que l'on usine avec un petit outil dont la trajectoire de mouvement sur la surface de la pièce est calculée de façon à assurer l'enlèvement d'une quantité prédéterminée de matériau (par exemple, de verre) de chaque zone élémentaire.

Conformément au procédé décrit, le contrôle de la forme de la surface usinée est réalisé par une méthode d'interférence utilisant des correcteurs du front d'onde, un balayage automatique des interférogrammes et un traitement des données par un ordinateur.

Ce procédé a une faible productivité aux étapes de formation de surfaces asphériques avec un grand écart par rapport à la sphère la plus proche. Ceci est dû au fait que le passage par toutes les zones de l'outil se déplaçant dans le système de coordonnées X et Y, la pièce traitée étant fixe, exige un temps considérable, par exemple des dizaines d'heures. Le contrôle de la forme de la surface par la méthode d'interférences exige également un temps considérable pour l'ajustage du circuit de contrôle y compris le correcteur, la mesure du cliché (10^7 impulsions environ pour un cliché), le traitement du fichier des données par l'ordinateur, ce temps étant à peu près 4 h par cliché à condition que le processus de mesure et de traitement des interférogrammes soit complètement automatisé.

Il existe un dispositif de façonnage de surfaces optiques, qui comporte une table rotative, une commande électrique de la table rotative, un détecteur de position de la table rotative relié à un comparateur, un mécanisme
5 de transfert de l'outil et un détecteur de déplacement linéaire de l'outil, le comparateur, le détecteur de déplacement linéaire de l'outil et le mécanisme de transfert de l'outil étant reliés à un dispositif de commande.

Ce dispositif permet de réaliser la commande du
10 mouvement de translation alternatif de l'outil de telle façon que ce dernier se trouve plus longtemps sur celles des zones de la pièce dont il faut enlever un plus grand volume de matière.

L'inconvénient de ce dispositif connu réside dans
15 le fait que sa productivité est faible par suite du nombre limité de figures de recouvrement de la surface usinée par l'outil de petites dimensions.

Le but de l'invention est donc de créer un procédé
de commande automatique du régime technologique de façonnage de surfaces optiques de pièces optiques et un
20 dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé, qui permettraient d'automatiser la fabrication des pièces optiques.

Ce problème est résolu à l'aide d'un procédé de
25 commande automatique du régime technologique de façonnage de surfaces optiques de pièces optiques, du type consistant à déplacer par rapport à la surface optique à usiner un outil dont le diamètre est sensiblement inférieur au diamètre de la pièce optique à usiner, à diviser conventionnellement la surface à usiner en zones élémentaires
30 et à choisir un régime technologique de façonnage dans lequel le produit de la pression de l'outil par la vitesse relative de son déplacement sur la surface à usiner de chaque zone élémentaire a une valeur prédéterminée permettant, en faisant varier au moins l'un de ces paramètres
35 du régime technologique, d'obtenir la configuration voulue de la surface optique à usiner en introduisant ce paramètre

dans le programme de fonctionnement de la machine-outil, ledit procédé étant caractérisé, suivant l'invention, en ce qu'on choisit sur la surface optique au moins deux directions radiales suivant lesquelles on mesure les

5 profils normaux de la surface optique, on établit l'amplitude du profil normal moyen le long du rayon de la surface optique suivant les directions choisies, on compare cette amplitude avec l'erreur moyenne quadratique de sa détermination, ensuite, si l'amplitude du profil normal moyen

10 dépasse l'erreur moyenne quadratique, on adopte en tant que zones élémentaires des zones élémentaires annulaires, et en tant que paramètres variables du régime technologique, la pression de l'outil et la durée de la présence de l'outil sur chaque zone annulaire de la surface optique à

15 usiner, et on effectue la commande du régime technologique de façonnage de la surface optique en faisant varier la pression et la durée de la présence de l'outil sur les zones annulaires de façon à modifier la forme de la pièce brute et la quantité de matériau enlevé pour les différentes

20 zones annulaires élémentaires de la surface à usiner en fonction du matériau de la surface optique et de celui de l'outil, et des caractéristiques de l'émulsion abrasive utilisée ainsi qu'en tenant compte de la relation entre la quantité de matériau enlevé et la vitesse adoptée de

25 rotation de la pièce et de l'outil, ainsi qu'en fonction du rapport des diamètres de l'outil et de la pièce usinée, et on répète le processus de formation de la surface optique jusqu'à ce que soit obtenue la forme voulue de la surface optique à usiner, tandis que si l'amplitude du

30 profil normal moyen est inférieure à l'erreur moyenne quadratique, on forme le diagramme des écarts normaux de toute la surface à usiner par rapport à la surface optique à obtenir, et dans ce cas, si l'amplitude des écarts normaux dépasse des valeurs limites qui, pour les matériaux

35 respectifs, sont choisies entre 0,05 et 0,3 micron, on choisit sur la base de ce diagramme un régime technologique dans lequel on établit la durée de la présence de l'outil

- sur chaque zone annulaire et on fait varier la pression de l'outil sur la surface usinée de façon à modifier la forme de la pièce brute et la quantité de matériau enlevé pour différentes zones annulaires élémentaires de la surface à usiner en fonction du matériau de la surface optique, de l'outil, des caractéristiques de l'émulsion abrasive utilisée, ainsi qu'en tenant compte de la relation entre la quantité de matériau enlevé et la vitesse adoptée de rotation de la pièce et de l'outil et du rapport des diamètres de l'outil et de la pièce à usiner, alors que dans le cas où l'amplitude des écarts normaux est inférieure ou égale à la valeur limite, on choisit un certain niveau de coupure des zones de la surface sur lesquelles l'amplitude des écarts normaux est notablement supérieure au niveau des bruits de fond et une forme de la surface de référence pour laquelle la durée de l'usinage est minimale, ensuite on établit une pression constante de l'outil et une vitesse constante de rotation de l'outil dépassant largement la vitesse de déplacement du centre de l'outil sur la surface optique de la pièce, on détermine la durée de l'usinage de chaque zone élémentaire en fonction des matériaux de la surface optique et de l'outil, des caractéristiques de l'émulsion abrasive utilisée et de la vitesse de rotation et du diamètre de l'outil, et on déplace le centre de l'outil de la région aux écarts normaux maximaux vers la région aux écarts normaux minimaux et à l'intérieur de la région, des zones élémentaires aux écarts normaux maximaux vers les zones élémentaires aux écarts normaux minimaux avec oscillations simultanées autour de la position médiane dans les limites de la zone élémentaire respective.

Il est utile de choisir le diamètre de l'outil égal à la distance moyenne entre les extrémums sur les profils normaux de la surface optique.

- Il est également utile, pour effectuer la commande du régime technologique de façonnage et à condition que l'amplitude des écarts normaux dépasse les valeurs limites,

de choisir une surface de référence idéale dont la forme est telle que la durée de l'usinage soit minimale et qui dépend des valeurs des écarts normaux moyens de la surface de la pièce optique obtenues durant le contrôle de la

5 pièce optique par rapport à la surface de référence choisie durant le contrôle, de déterminer ensuite les valeurs des écarts normaux pour la surface de référence choisie, de déterminer les valeurs limites admissibles minimale et maximale de l'outil, de déterminer la quantité initiale

10 de matériau ballast enlevé de la pièce brute et, en modifiant la quantité initiale du matériau enlevé avec un pas comparable aux erreurs de contrôle, de déterminer la quantité finale de matériau ballast à enlever en fonction des limites des pressions admissibles, ensuite, en

15 augmentant les valeurs calculées des écarts normaux de la surface optique à usiner par rapport à la surface de référence de la quantité de matériau ballast enlevé, de déterminer la durée de l'usinage qui dépend de la pression maximale admissible, de la quantité de matériau ballast

20 enlevé et de la valeur des écarts normaux, et de déterminer, d'après les valeurs trouvées de la durée de l'usinage et des écarts normaux, les pressions de l'outil pour chaque zone élémentaire de la surface optique à usiner.

La quantité de matériau ballast enlevé peut être

25 déterminée conformément à la gamme dynamique de conversion du signal de commande en pression de l'outil.

Il est avantageux de déterminer la forme de la surface idéale par modification simultanée du rayon de sa courbure et des angles d'inclinaison autour de deux axes

30 réciproquement perpendiculaires se trouvant dans un plan perpendiculaire à l'axe de symétrie de la surface, et par transfert parallèle.

Le problème exposé plus haut est aussi résolu à l'aide d'un dispositif pour la commande automatique du

35 régime technologique de façonnage des surfaces optiques de pièces optiques, qui suivant l'invention, comporte des détecteurs de position de la pièce brute, un détecteur de

déplacement linéaire de l'organe d'exécution de la machine-
outil et un détecteur de l'effort utile de pression de
l'outil contre la surface usinée, un ordinateur dont le
dispositif d'entrée de données est relié aux détecteurs
5 de position de la pièce brute, de déplacement linéaire de
l'organe d'exécution et de l'effort utile de pression,
ledit ordinateur étant muni d'un circuit de détermination
des valeurs instantanées des coordonnées de la pièce
brute et du centre de l'outil dans le système de coordon-
10 nées liées à la rotation de la pièce brute et au déplacement
linéaire de l'outil le long du diamètre de la pièce usinée,
ce circuit étant relié au détecteur de déplacement linéaire
de l'organe d'exécution et aux détecteurs de position de
la pièce brute, un circuit de calcul de l'effort utile de
15 la pression de l'outil correspondant aux valeurs instanta-
nées déterminées des coordonnées sur la surface à usiner,
un circuit de formation d'ordres d'usinage fournis à
l'organe d'exécution pour créer l'effort utile conformément
aux valeurs courantes des coordonnées, ce circuit étant
20 mis en série avec le circuit de détermination des valeurs
instantanées des coordonnées, un circuit de commande du
temps de présence de l'outil sur une série de zones
annulaires de toute la surface de la pièce, auquel sont
reliés le détecteur de déplacement linéaire et la commande
25 électrique de l'organe d'exécution, un circuit de mesure
du temps d'usinage technologique, relié à la commande de
l'organe d'exécution et à la commande de rotation de la
pièce brute.

Le procédé et le dispositif proposés assurent
30 l'automatisation du processus de façonnage des surfaces
optiques.

L'invention sera mieux comprise et d'autres buts,
détails et avantages de celle-ci apparaîtront mieux à la
lumière de la description explicative qui va suivre de
35 différents modes de réalisation donnés uniquement à titre
d'exemples non limitatifs, avec références aux dessins
non limitatifs annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente la fonction technologique de la machine-outil;

- les figures 2a et 2b représentent respectivement le diagramme des écarts normaux de la surface des pièces
5 et un diagramme de réalisation du processus technologique, selon l'invention;

- la figure 3 représente le schéma de principe du dispositif d'usinage de pièces optiques selon l'invention;

- la figure 4 représente le circuit de détermination des valeurs instantanées des coordonnées de la pièce brute et du centre de l'outil, conformément à l'invention;

- la figure 5 représente un circuit de formation de commandes, selon l'invention;

- la figure 6 représente le circuit de détermination de la quantité spécifique de matériau enlevé, selon
15 l'invention;

- la figure 7 représente le circuit de simulation de la quantité de matériau enlevé, selon l'invention;

- la figure 8 représente le circuit de mesure du
20 temps technologique d'usinage, selon l'invention;

- la figure 9 représente le schéma structural du dispositif pour la commande automatique du régime technologique, selon l'invention.

Dans la description qui va suivre, le procédé de
25 gestion conforme à l'invention va être examiné, uniquement à titre d'exemple non limitatif, dans son application au polissage des surfaces optiques de miroirs pour télescopes, le diamètre des miroirs étant de 500 à 3.000 mm.

Le diamètre D_1 de l'outil est choisi égal à la
30 distance moyenne entre les extrémums sur les profils normaux de la surface optique, déterminés par un procédé connu dans deux directions radiales. Le plus souvent, ce diamètre constitue 10 à 18% du diamètre D de la surface à usiner. On suppose, à titre d'exemple, que pour le miroir
35 de 500 mm de diamètre, la distance moyenne entre les extrémums des écarts du profil de la surface par rapport à une sphère de référence choisie pour le contrôle est

égale à 80 mm. Alors le meilleur diamètre de polissage est $D_1 = 80$ mm. Cet outil réalise un mouvement de va-et-vient sur la surface du miroir tournant à une vitesse angulaire constante, le centre de l'outil décrivant une certaine

5 trajectoire sur la surface usinée du miroir.

On fait la moyenne des profils normaux mesurés et on détermine l'amplitude du profil normal moyen que l'on compare ensuite à l'erreur moyenne quadratique de sa détermination.

10 Si l'amplitude est supérieure à l'erreur moyenne quadratique, on divise la surface à usiner en zones élémentaires se présentant sous la forme de zones annulaires concentriques dont le nombre choisi est, par exemple, 9, 10 ou 11.

15 Afin de commander la quantité de matériau à enlever, on fait varier la pression de l'outil sur la surface usinée en fonction de celle des 9 à 11 zones, appelées également zones de commande, sur laquelle se trouve le centre de l'outil. Pour le miroir de 500 mm de diamètre, le nombre
20 de zones annulaires est choisi égal à 9. Afin de déterminer les valeurs de la pression de l'outil sur la surface à usiner pour chaque zone annulaire, on utilise les écarts normaux moyens de la surface à usiner, obtenus par suite du contrôle, par rapport à la surface choisie également
25 par suite du contrôle et appelée surface de référence. Ces valeurs sont comprises dans la gamme de 0 à 1 micron et sont différentes pour les différentes zones de commande.

La détermination des valeurs de pression du polisseur sur la surface à usiner se fait en plusieurs
30 étapes.

Sur la base de données expérimentales on trouve une constante technologique K qui dépend : a) de la vitesse de rotation de la pièce et de l'outil; b) de l'excentricité du guide de l'outil; c) de la position initiale du centre
35 d'oscillations et du déplacement de l'outil le long de son guide; d) du rapport D_1/D ; e) des matériaux de la surface optique et de l'outil et des caractéristiques de

l'émulsion abrasive utilisée. Les valeurs a) à d) sont les paramètres d'ajustage de la machine-outil. La valeur K est égale à la quantité de matériau à enlever de la surface dans la zone centrale à la pression de 1 kg durant 1 h.

- 5 La valeur K est égale le plus souvent à 0,03 micron. Les paramètres d'ajustage a) à c) sont maintenus constants durant tout l'usinage.

La gamme de variations de la constante K en fonction des paramètres d'ajustage est d'environ 0,02 à 0,05 micron.

Etape 1.-

On choisit une nouvelle surface de référence de façon à minimiser la durée de l'usinage. A cet effet, on détermine les valeurs :

$$15 \quad h'_i = h_i / \psi_i, \quad (1)$$

où $i = 0, 1, \dots, N$

i étant le numéro de la zone de commande annulaire,

N étant le nombre de zones de commande diminué de 1

- 20 (par exemple, $N = 8$ pour 9 zones de commande);

h_i est la valeur de l'écart normal moyen par rapport à la surface de référence sur la i^{me} zone de commande calculée par suite du contrôle;

- 25 ψ_i est le rapport de la quantité de matériau à enlever lors de l'usinage sous pression constante pour la i^{me} zone à la valeur analogue pour la zone 0 disposée au centre de la surface usinée.

Les valeurs h_i s'échelonnent pratiquement de 0 à 0,5 micron et sont différentes pour les zones annulaires différentes. Les valeurs ψ_i sont caractérisées par les paramètres d'ajustage de la machine-outil. Le caractère de la relation entre les valeurs ψ_i et le rayon moyen ρ_i des zones annulaires est illustré par la courbe faisant l'objet de la figure 1, qui sera appelée dans ce qui suit

35 "fonction technologique de la machine-outil". Ensuite on détermine les valeurs :

$$y_h(i_1, i_2) = (h_{i_2} - h_{i_1}) / (\rho_{i_2}^2 - \rho_{i_1}^2),$$

$$x_h(i_1, i_2) = \min_{0 \leq i \leq N} [h_i - \rho_i^2 y_h(i_1, i_2)],$$

$$5 \quad y_p(i_1, i_2) = (h'_{i_2} - h'_{i_1}) / (\rho_{i_2}^2 - \rho_{i_1}^2),$$

$$x_p(i_1, i_2) = \min_{0 \leq i \leq N} [h'_i - y_p(i_1, i_2) \rho_i^2],$$

où i_1, i_2 sont les numéros des zones annulaires,
 10 $0 \leq i_1 \leq i_2 \leq N$;

h_{i_1}, h_{i_2} sont les valeurs respectives des écarts normaux
 de la pièce par rapport à la surface de
 comparaison choisie par suite du contrôle de la surface
 15 à usiner;

h'_{i_1}, h'_{i_2} sont les valeurs déterminées à l'aide de la
 formule (1) pour les zones annulaires corres-
 pondant aux numéros i_1, i_2 , respectivement;

ρ_{i_1}, ρ_{i_2} sont les distances entre le centre de la
 20 surface à usiner du miroir et les centres des
 zones annulaires désignées par les numéros i_1, i_2 ,
 respectivement.

De l'ensemble de valeurs $x_h(i_1, i_2), y_h(i_1, i_2)$,
 on choisit les valeurs x_1, y_1 pour lesquelles la plus
 25 grande des valeurs

$$h'_i - [x_h(i_1, i_2) + y_h(i_1, i_2) \rho_i^2], \quad (2)$$

calculées pour tous les numéros i des zones annulaires,
 $0 \leq i \leq N$, sera la plus petite. La plus petite valeur
 30 déterminée à l'aide de la formule (3) sera désignée par Δ_1 .

De l'ensemble de valeurs $x_p(i_1, i_2), y_p(i_1, i_2)$,
 on choisit les valeurs x_2, y_2 pour lesquelles la plus
 grande des valeurs

$$35 \quad h'_i - [x_p(i_1, i_2) - y_p(i_1, i_2) \rho_i^2], \quad (3)$$

calculées pour chaque zone annulaire sera la plus petite.

La valeur la plus petite déterminée à l'aide de la

formule (3) sera désignée par Δ_2 .

Ensuite on suppose que $x = x_1$, $y = y_1$, si $\Delta_1 \leq \Delta_2$, et on admet $x = x_2$, $y = y_2$, si $\Delta_1 > \Delta_2$.

5 Les valeurs

$$h_i = (x + y\rho_i^2), i = 0, 1, \dots, N \quad (4)$$

sont les valeurs des écarts normaux moyens sur la surface à usiner par rapport à la nouvelle surface de référence à laquelle les écarts normaux sont positifs et pour laquelle la durée de l'usinage est minimale pour les numéros respectifs des zones annulaires. On détermine la valeur égale à la plus grande valeur déterminée à l'aide de la formule (4); la valeur μ est la valeur de l'écart normal moyen le plus grand de la surface à usiner par rapport à la surface de référence pour laquelle la durée de l'usinage est minimale. La valeur μ constitue pratiquement 70% à 90% de la valeur de l'écart normal moyen le plus grand pour chaque zone annulaire.

20 Etape 2.-

Le choix de la quantité de matériau ballast à enlever.

A l'aide de la formule $\Delta B = 0,25\mu$, on détermine la quantité initiale de matériau ballast à enlever et on calcule la valeur

25
$$\gamma = \frac{\min_{0 \leq i \leq N} \left\{ 1/\psi_i [h_i - (x + y\rho_i^2) + B] \right\}}{\max_{0 \leq i \leq N} \left\{ 1/\psi_i [h_i - (x + y\rho_i^2) + B] \right\}}, \quad (5)$$

30 où i est le numéro de la zone annulaire;

h_i est la valeur de l'écart normal de la pièce brute par rapport à la surface de référence choisie par suite du contrôle de la pièce brute;

35 x, y sont des valeurs déterminées au préalable;

B est la valeur courante de la quantité de matériau ballast enlevée;

Ψ_i est le rapport, pour la i^{me} zone, de la quantité de matériau enlevé sous pression constante à la quantité de matériau enlevé sous la même pression pour la zone 0 disposée au centre de la surface à usiner. Si la condition

5 suivante est remplie :

$$\gamma < P_{\min}/P_{\max}$$

où P_{\min} , P_{\max} sont respectivement les valeurs admissibles données minimale et maximale de la pression du polisseur sur la surface usinée, alors la valeur finale B_0 de la

10 quantité de matériau ballast enlevé est supposée égale à la valeur courante B de la quantité de matériau ballast enlevé, sinon on augmente la valeur B de $0,25\mu$ et on calcule de nouveau la valeur ΔB à l'aide de la formule (5) et on vérifie la condition (6).

15 Les valeurs P_{\min} , P_{\max} sont données en fonction de la gamme dynamique de conversion du signal de commande en pression de l'outil et de manière à satisfaire la condition de linéarité de la relation entre la quantité de matériau enlevé de la surface à usiner et la pression du polisseur

20 sur la surface à usiner. Par exemple, la valeur P_{\min} est déterminée par la masse de l'outil et est égale à 1 kg, alors que la valeur P_{\max} est égale à 15 kg. Dans ce cas, la valeur finale de la quantité de matériau ballast enlevé est comprise, en fonction des écarts normaux moyens pour

25 chaque zone annulaire, entre 0,05 et 0,15 micron.

Etape 3. Détermination des pressions.

Après la détermination de la quantité finale de matériau ballast enlevé, on calcule le temps T de l'usinage

30 suivant la formule :

$$T = \frac{1}{P_{\max} \cdot k} \max_{0 \leq i \leq N} \left\{ 1/\Psi_i [h_i - (x + y\rho_i^2) + B_0] \right\}, (7)$$

où P_{\max} , Ψ_i , h_i , x , y , ρ_i , B_0 , N sont des valeurs déterminées au préalable.

35 Les valeurs P_i des pressions pour chaque zone annulaire sont déterminées d'après la formule :

$$P_i = \frac{h_i - (x + y \rho_i^2) + B_0}{T k \psi_i}, \quad i = 0, 1, \dots, N \quad (8)$$

Dans ce cas, la plus grande valeur P_i est égale à P_{\max} et la plus petite est pratiquement de 2 à 4 kg.

Les durées T_i de présence de l'outil sur chaque zone sont choisis de façon que $T_0 + T_1 + \dots + T_i = T$ et que les valeurs

$$\frac{h_i - (x + y \rho_i^2) + B_0}{T_i}$$

soient égales entre elles:

$$T_i = \frac{h_i - (x + y \rho_i^2) + B_0}{\psi_i P_i k} \quad (9)$$

Les valeurs calculées des pressions et de la durée de présence de l'outil sur chaque zone annulaire sont introduites dans le programme de commande de la machine à polir et, après une séance de polissage, on réalise le contrôle de la surface du miroir usiné. Si les valeurs des écarts normaux moyens pour chaque zone annulaire par rapport à la surface de comparaison choisie au moment du contrôle ne sont pas inférieures à l'erreur moyenne quadratique de détermination de ces écarts normaux moyens, on réalise la séance d'usinage suivante. Alors, on répète le calcul de toutes les valeurs plus haut et on peut corriger la valeur de la constante K.

Le nombre total de séances d'usinage est de 3 à 7, ce qui correspond à 4,5 à 10 heures de temps technologique.

Etape 4. - Détermination du régime pour le cas où les écarts normaux moyens pour chaque zone annulaire sont inférieurs à l'erreur moyenne quadratique de ces écarts normaux.

Sur la figure 2a est représenté un exemple de diagramme des écarts normaux de la surface optique pour le

cas d'une division en secteurs représentant des zones
élémentaires. Les chiffres à l'intérieur des secteurs
indiquent la valeur moyenne des écarts normaux de la
surface optique par rapport à une certaine surface de
5 référence en fractions de micron, par exemple en centièmes
de microns. La mise en moyenne se fait par au moins trois
lectures des écarts normaux, faites en différents points
du secteur élémentaire et obtenues par une méthode géomé-
trique de contrôle des surfaces optiques, par exemple à
10 l'aide de la méthode Hartman dans sa variante modifiée
pour l'enregistrement et le traitement automatique de
données (voir, par exemple, E.A. Vitrichenko, F.T.
Katagarov "Méthode accélérée de Hartman pour les recherches
en optique astronomique" "Revue astronomique", vol. 55,
15 fascicule 1, 1978, Moscou, pp. 180 à 185).

Sur la base du diagramme sectoriel des écarts
normaux on calcule le régime technologique suivant les
méthodes décrites ci-dessus (figure 2b).

Ici, à chaque secteur correspond une valeur de
20 l'effort utile (en kgf) désigné dans le texte par P_1 .
L'outil est déplacé le long du diamètre de la pièce, alors
que son temps de présence sur les différentes zones,
désigné dans le texte par T_1 , est modifié conformément à
la formule (9).

25 Pour chaque zone élémentaire, on détermine à
l'aide la formule $\Delta B = 0,25\mu$, où μ est l'écart normal
maximal sur les zones élémentaires. On calcule la valeur γ
à l'aide de la formule (5), où i est le numéro de la
zone élémentaire et les autres désignations ont le même
30 sens que dans (5). Ensuite on procède conformément à
l'étape 2. La détermination des pressions se fait d'après
les formules de l'étape 3, où i est le numéro de la
zone élémentaire.

35 Le dispositif de commande du régime technologique
est réalisé de la façon suivante.

Sur une table rotative 1 (figure 3) est placée une
pièce optique 2. La table 1 peut être mise en rotation

autour d'un axe 3 par une commande électrique 4 par l'intermédiaire d'un démultiplicateur 5. Un détecteur de position 6 est monté sur l'axe 3 et mesure la valeur courante de la position angulaire de la table 1. Le détecteur 6 est branché à l'aide d'un bloc d'interface 7 sur un ordinateur 8.

Un détecteur 9 de déplacement linéaire est installé sur l'axe 10 d'un réducteur 11 relié à une commande électrique 12 et réalisant le transfert d'un organe d'exécution 13. Le détecteur 9 est branché à l'aide d'un bloc d'interface 14 sur l'ordinateur 8.

Un détecteur 15 d'effort utile est constructivement relié à l'organe d'exécution 13 et à un outil 16 de façon à mesurer la valeur de l'effort utile de pression de l'outil 16 sur la surface à usiner de la pièce 2. Le détecteur 15 est branché à l'aide d'un bloc d'interface 17 sur l'ordinateur 8.

Un bloc d'interface 18 relié à l'ordinateur 8 permet de commander la commande électrique 12, et un bloc d'interface 19 relié à l'ordinateur 8, de commander la commande électrique 4.

L'organe d'exécution 13 est déplacé à l'aide d'une vis-mère 20 sur une console 21 de la machine-outil.

Le détecteur de position 6 comporte un convertisseur photoélectrique 22 (figure 4) relié à l'aide d'un bloc d'interface 23 à un registre d'information 24 de l'ordinateur 8.

Le détecteur 9 de déplacement linéaire comporte un convertisseur photoélectrique 25 de déplacement linéaire de l'organe d'exécution 13 (figure 3), relié à travers un bloc d'interface 26 à un registre d'information 27 de l'ordinateur 8.

L'interrogation des registres d'information 24 et 27 et l'écriture de l'information depuis les détecteurs 6 et 9 sont réalisés par un bloc 28 de commande microprogrammée (figure 4), relié à une mémoire opérationnelle 29 de l'ordinateur 8. Les éléments 22 et 27 du dispositif forment

un circuit de détermination des valeurs instantanées des coordonnées de la pièce et du centre de l'outil dans le système de coordonnées lié à la rotation de la pièce et au déplacement linéaire de l'outil le long du diamètre de la
5 pièce.

Le détecteur d'effort utile 15 comporte un mesureur d'effort utile 30 (figure 5) relié à un amplificateur 31 dont la sortie est branchée sur un convertisseur analogique-numérique 32 relié à un bloc d'interface 33. Ce dernier
10 est relié à un bloc 34 d'entrée/sortie de l'information de l'ordinateur 8, ce bloc étant branché sur un registre d'information 35. L'interrogation du registre d'information 35 et l'écriture de l'information depuis le détecteur 15 sont réalisées par le bloc 28 de commande micro-programmée.

L'organe d'exécution 13 est commandé par un amplificateur opérationnel 36 dont une première entrée 37 est reliée à la sortie d'un amplificateur d'action principale 38, sa deuxième entrée 39 étant une entrée correctrice et étant reliée à la sortie d'un amplificateur
20 d'action correctrice 40. Les entrées des amplificateurs 38, 40 sont reliées aux sorties des convertisseurs numériques-analogiques 41 et 42, qui sont reliés à travers des blocs d'interface 43 et 44 au bloc 34 d'entrée/sortie par
25 l'intermédiaire duquel le signal de commande est appliqué à un registre d'information 45 depuis le bloc 28 de commande microprogrammée.

Les éléments 13, 36 à 44 forment un circuit de formation d'ordres de l'usinage pour l'organe d'exécution
30 13 développant l'effort utile en fonction des valeurs courantes des coordonnées.

Le dispositif comporte également un circuit 46 (figure 1) de prédétermination de la quantité spécifique de matériau enlevé, branché sur l'ordinateur 8, et un
35 circuit 47 de simulation de la quantité de matériau enlevé durant une séance technologique de l'usinage, qui contient un lecteur de ruban perforé 48 et un afficheur 49.

Le circuit 46 (figure 5) comporte un téléimprimeur 50 relié par un bloc d'interface 51 à un bloc 52 d'entrée/sortie branché à travers un registre d'information 53 sur le bloc 38.

5 Le circuit 47 (figure 6) de simulation comporte un lecteur de ruban perforé 48 relié à travers un bloc d'interface 54 à un bloc 55 de commande d'entrée/sortie, branché à travers un registre d'information 56 sur le bloc 28. Les résultats de la simulation, fournis par la
10 mémoire opérationnelle 29, sont appliqués par l'intermédiaire du bloc 28 et d'un registre d'information 57 au bloc 55 de commande d'entrée/sortie relié à travers un bloc d'interface 58 à l'afficheur 49.

Sur la figure 8 est représenté le schéma de commande
15 du passage de l'outil par les zones annulaires consécutives de la surface de la pièce.

Les valeurs T_i fournies par la mémoire opérationnelle 29 sont appliquées sur l'ordre du bloc 28 de commande microprogrammée et à travers le registre d'information 45
20 et le bloc 34 de commande d'entrée/sortie, au registre tampon d'une horloge 60, et l'horloge 60 commence à compter le temps dans son registre de comptage. Lorsque les contenus des registres tampon et de comptage deviennent égaux, le bloc 28 de commande microprogrammée reçoit un
25 signal de fin de comptage du temps sur une zone quelconque. Alors, sur l'ordre du bloc 28 de commande microprogrammée et à travers le registre d'information 35 et le bloc 34 d'entrée/sortie, les signaux de passage à la zone suivante sont fournis au bloc de commande de la commande électrique
30 18 et au moteur électrique 12. Le moment de l'arrêt de l'outil sur la zone suivante est enregistré par le détecteur de déplacement linéaire 9 (figure 1) relié au bloc 28 de commande microprogrammée, comme le montre la figure 4. A ce moment, se remet en action le circuit de commande de
35 la présence de l'outil sur une zone (figure 8).

La figure 9 représente le schéma structurel de commande du polisseur, qui montre plus clairement les

liaisons mutuelles entre les circuits. Les chiffres de référence de la figure 8 correspondent à ceux des figures précédentes et au texte de la description.

5 Le fonctionnement du dispositif de commande du régime technologique commence par l'introduction dans l'ordinateur 8 d'un programme de gestion du régime, établi sur la base des données du contrôle de la forme de la surface à usiner, des constantes technologiques adéquates et des paramètres cinématiques du dispositif.

10 Sont possibles deux régimes de fonctionnement de l'installation.

- régime A : façonnage de la surface optique sur une série de zones annulaires se succédant et concentriques à l'axe optique de la pièce, correspondant à la variante 15 où l'amplitude du profil normal moyen dépasse l'erreur moyenne quadratique;

- régime B : façonnage de la surface optique sur un ensemble de zones élémentaires de la surface de la pièce, par exemple disposées suivant un réseau sectoriel 20 concentrique à l'axe optique de la pièce.

Le choix du régime d'usinage de la pièce est basé sur l'analyse des données de contrôle de la forme de la surface optique.

25 En cas de fonctionnement du dispositif en régime A, les grandeurs réglables sont l'effort utile de pression de l'outil P_1 et le temps T_1 de présence de l'outil sur chaque zone annulaire. Les valeurs numériques respectives de P_1 et T_1 sont inscrites dans la mémoire de l'ordinateur 8, alors que la valeur P_1 , conformément à la formule (8), 30 tient compte des constantes technologiques en fonction du matériau de la surface optique et de l'outil et de la fonction de la machine-outil.

35 La pièce à usiner est installée sur la table rotative 1, l'organe d'exécution 13 est placé à l'aide de la commande électrique 12 au bord de la pièce 2 dans une position correspondant à la première zone annulaire. Le fonctionnement suivant du dispositif est automatique, sur

ordres de l'ordinateur 8. A cette fin, l'ordinateur 8 interroge le système de détecteurs et les organes d'exécution afin de déterminer leur état.

S'il y a des blocs qui ne réagissent pas aux demandes de l'ordinateur, le téléimprimeur 46 imprime le message "panne" avec indication des blocs défectueux. Si tous les blocs sont en bon état, la commande 4 de rotation de la table rotative et ensuite la commande 12 de déplacement de l'outil entrent en action. A ce moment le détecteur 25 de déplacement linéaire commence à fournir à l'ordinateur 8, à travers le bloc d'interface 26 et le registre d'information 27, l'information sur la position du centre de l'outil 16. Le programme qui commande le régime technologique extrait de la mémoire de travail 29 les valeurs respectives de P_1 et T_1 . La mémoire de travail 29 (figure 7) inscrit d'abord dans l'horloge 60 la valeur T_1 pour la première zone et commence le comptage du temps de présence de l'outil. Ensuite l'interrogation de l'horloge 60 se fait périodiquement, plusieurs fois par seconde.

Après le début du comptage du temps, l'ordinateur 8 passe au réglage de l'effort utile sur la première zone. Cette opération est réalisée par le circuit de correction de l'effort utile. A cet effet, le signal fourni par le détecteur d'effort utile 15 est appliqué à l'amplificateur 31 et ensuite au convertisseur analogique-numérique 32. L'ordinateur 8 lit l'information sur le convertisseur analogique-numérique 32 et l'envoie à travers le registre d'information 35 à la mémoire de travail 29. Ensuite le bloc 28 de commande microprogrammée compare la valeur courante de l'effort utile avec celle de consigne pour la première zone. En cas d'écart entre les valeurs courante et de consigne de l'effort utile, le bloc 28 de commande microprogrammée fournit des signaux de correction qui, par l'intermédiaire du registre d'information 45, du bloc 34 de commande d'entrée-sortie, des blocs d'interface 43, 44 et des convertisseurs numériques-analogiques 41 et 42, sont transmis aux amplificateurs 38, 40 et puis à

l'amplificateur opérationnel 36 de grande puissance, dont la charge est la bobine mobile du système électrodynamique (non représenté) de l'organe d'exécution 13. La bobine mobile crée un effort de poussée sur l'outil 16, la valeur
5 de cet effort étant proportionnelle à l'intensité du courant parcourant la bobine mobile, ce qui permet de modifier l'effort de pression de l'outil 16 sur la surface usinée.

Le bloc 28 de commande microprogrammée de l'ordinateur 8 assure une interrogation périodique du mesureur d'effort 15 et la correction de l'action fournie. Lorsque les contenus des registres de comptage et tampon de l'horloge 60 deviennent égaux, l'horloge 60 transmet le signal correspondant, à travers le bloc 34 de commande
15 d'entrée/sortie et le registre d'information 45, au bloc 28 de commande microprogrammée. Sur l'ordre du bloc 28, l'effort sur la première zone est supprimé et des ordres de transfert de l'outil à la deuxième zone sont fournis. Le processus de positionnement de l'organe d'exécution, d'extraction et d'affichage des paramètres P_1 et T_1 pour
20 la deuxième et toutes les autres zones se déroule de la même façon que pour la première zone.

La séance technologique prend fin après le passage de l'outil 16 sur toutes les zones de la surface à usiner
25 de la pièce 2. La pièce est enlevée de la machine-outil et est placée dans un dispositif de contrôle. Les résultats du contrôle sont transmis d'abord au circuit de simulation de la quantité de matériau enlevé (figure 6). Ici, sont comparées la quantité réelle de matériau enlevé de chaque zone annulaire de la surface à usiner et la quantité
30 théorique de matériau à enlever, calculée conformément à la formule (1). En fonction des résultats de la simulation, on prend la décision d'introduire une correction de la quantité spécifique de matériau enlevé (figure 5).

35 Le fonctionnement de l'installation technologique en régime B se déroule comme suit.

La pièce optique 2 est installée sur la table

rotative 1 de façon à faire coïncider le repère marqué sur sa face avec le repère indiquant le début de lecture de la coordonnée d'après l'angle de position lors de la rotation de la table rotative. Ceci est rendu nécessaire
5 par le fait qu'en régime B l'ordinateur 8 reçoit les données concernant la valeur courante de l'angle de position de la table rotative 1, formées par le circuit de détermination des valeurs instantanées des coordonnées de la pièce et du centre de l'outil, par le convertisseur
10 photoélectrique 22, le bloc d'interface 23 relié au registre d'information 24, le bloc 28 de commande micro-programmée et la mémoire de travail 29.

Le programme technologique pour réaliser le régime B est stocké dans la mémoire de travail 29. L'information sur
15 la valeur courante de la coordonnée de position de la pièce à usiner permet d'appliquer la division conventionnelle de la surface sur une série de zones élémentaires de toute forme, par exemple en forme de secteurs, ce qui permet, à son tour, de faire l'usinage local de la surface en
20 modifiant l'effort utile d'un secteur à l'autre conformément au programme technologique prédéterminé. Ceci est une particularité essentielle du fonctionnement de l'installation en régime B. L'extraction de T_1 et P_1 et leur traitement sont faits de la même façon que dans le régime A.
25 Dans ce cas, P_1 prend différentes valeurs non seulement d'une zone à l'autre, mais également d'un secteur à l'autre dans les limites de la même zone.

Le procédé et le dispositif proposés permettent d'augmenter la productivité du processus technologique de
30 façonnage des surfaces optiques de forme aléatoire de 10 fois, au moins, par rapport à la technologie et à l'équipement existants.

D'autre part, on obtient une précision de la surface usinée meilleure que 0,02 micron (erreur moyenne quadratique de la forme de la surface).
35

Bien entendu, l'invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation décrits et représentés qui n'ont

été donnés qu'à titre d'exemple. En particulier, elle comprend tous les moyens constituant des équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci sont exécutées suivant son esprit et mises
5 en oeuvre dans le cadre de la protection comme revendiquée.

R E V E N D I C A T I O N S

- 1.- Procédé de commande automatique du régime technologique de façonnage de surfaces optiques de pièces optiques, du type consistant à déplacer par rapport à la surface optique à usiner un outil dont le diamètre est sensiblement inférieur au diamètre de la pièce optique à usiner, à diviser conventionnellement la surface à usiner en zones élémentaires et à choisir un régime technologique de façonnage dans lequel le produit de la pression de l'outil par la vitesse relative de son déplacement sur la surface à usiner sur chaque zone élémentaire a une valeur prédéterminée permettant, en faisant varier au moins l'un de ces paramètres du régime technologique, d'obtenir la configuration voulue de la surface optique à usiner, ce paramètre étant à cette fin introduit dans le programme de fonctionnement de la machine-outil, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'on choisit sur la surface optique à usiner au moins deux directions radiales suivant lesquelles on mesure les profils normaux de la surface optique, on établit l'amplitude du profil normal moyen déterminé le long des rayons de la surface optique dans les directions choisies, on compare cette amplitude avec l'erreur moyenne quadratique de sa détermination, ensuite, si l'amplitude du profil normal moyen dépasse l'erreur moyenne quadratique, on adopte en tant que zones élémentaires des zones élémentaires annulaires, et en tant que paramètres variables du régime technologique, la pression de l'outil et la durée de la présence de l'outil sur chaque zone annulaire de la surface optique à usiner et on effectue la commande automatique du régime technologique de façonnage de la surface optique en faisant varier la pression de l'outil et la durée de la présence de l'outil sur chacune des zones annulaires de façon à modifier la forme de la pièce brute et la quantité de matériau enlevé pour les différentes zones annulaires élémentaires de la surface à usiner, en

fonction du matériau de la surface optique de l'outil, des caractéristiques de l'émulsion abrasive utilisée, et en tenant compte de la relation entre la quantité de matériau enlevé et la vitesse adoptée de rotation de la

5 pièce et de l'outil, ainsi que du rapport du diamètre de l'outil au diamètre de la pièce à usiner, et on répète le processus de façonnage de la surface optique jusqu'à ce que soit obtenue la forme voulue de la surface optique usinée, tandis que si l'amplitude du profil normal moyen

10 est inférieure à l'erreur moyenne quadratique, on forme le diagramme des écarts normaux de toute la surface à usiner par rapport à la surface optique exigée, étant entendu que si l'amplitude des écarts normaux dépasse des valeurs limites qui, pour les matériaux respectifs, sont

15 choisies entre 0,05 à 0,3 micron, on choisit sur la base de ce diagramme, un régime technologique dans lequel on assigne la durée de la présence de l'outil sur chaque zone annulaire et on fait varier la pression de l'outil sur la surface à usiner de façon à modifier la forme de

20 la pièce brute et la quantité de matériau enlevé de ladite surface en ses différentes zones élémentaires en fonction du matériau de la surface optique et de celui de l'outil et des caractéristiques de l'émulsion abrasive utilisée, ainsi qu'en tenant compte de la relation entre la quantité

25 de matériau enlevé et la vitesse adoptée de rotation de la pièce et de l'outil ainsi que du rapport du diamètre de l'outil au diamètre de la pièce à usiner, tandis que si l'amplitude des écarts normaux est inférieure ou égale à la valeur limite, on choisit un certain niveau de coupure

30 des zones de la surface sur lesquelles l'amplitude des écarts normaux est notablement supérieure au niveau des bruits de fond et une forme de la surface de référence pour laquelle la durée de l'usinage est minimale, ensuite on établit une pression constante de l'outil et une

35 vitesse constante de rotation de l'outil dont la valeur dépasse largement la vitesse de déplacement du centre de l'outil sur la surface optique de la pièce, on

- détermine la durée de l'usinage de chaque zone élémentaire en fonction du matériau de la surface optique et de celui de l'outil, des caractéristiques de l'émulsion abrasive utilisée, de la vitesse de rotation et du diamètre de l'outil, ledit déplacement du centre de l'outil s'effectuant de la région dans laquelle les écarts normaux sont maximaux vers la région dans laquelle les écarts normaux sont minimaux, et à l'intérieur de chaque région, des zones élémentaires dans lesquelles les écarts normaux sont maximaux vers les zones élémentaires dans lesquelles les écarts normaux sont minimaux, l'outil effectuant pendant ce temps un mouvement oscillatoire autour de sa position médiane dans les limites de la zone élémentaire correspondante.
- 15 2.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le diamètre de l'outil est choisi égal à la distance moyenne entre les extrémums des profils normaux de la surface optique.
- 20 3.- Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que, pour la commande automatique du régime technologique de façonnage dans le cas où l'amplitude des écarts normaux dépasse les valeurs limites, on choisit une surface idéale de référence dont la forme est telle que la durée de l'usinage soit minimale et qui dépend des
- 25 valeurs obtenues lors du contrôle de la pièce optique, des écarts normaux moyens de la surface de la pièce optique par rapport à la surface de référence choisie pendant le contrôle, ensuite on détermine les valeurs des écarts normaux pour la surface de référence choisie, puis
- 30 on assigne les valeurs limites minimale et maximale admissibles de la pression de l'outil, on détermine la quantité initiale de matériau ballast enlevé de la pièce brute et, en modifiant cette quantité initiale de matériau avec un pas comparable à l'erreur de contrôle, on détermine
- 35 la quantité finale de matériau ballast enlevé en fonction des limites des pressions admissibles, ensuite, en ajoutant

aux valeurs, calculées précédemment, des écarts normaux de la surface optique à usiner par rapport à la surface de référence la quantité de matériau ballast enlevée, on détermine la durée de l'usinage, qui dépend de la pression maximale admissible de l'outil, de la quantité de matériau ballast à enlever et de la valeur des écarts normaux, et on détermine, d'après les valeurs trouvées de la durée de l'usinage et des écarts normaux, la pression de l'outil pour chaque zone élémentaire de la surface optique à usiner.

4.- Procédé selon l'une des revendications 1, 2 et 3, caractérisé en ce que la quantité de matériau ballast à enlever de la pièce optique est déterminée conformément à la gamme dynamique de conversion du signal de commande en pression de l'outil.

5.- Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la forme de la surface de référence voulue, pour laquelle les écarts normaux sont positifs et la durée de la séance d'usinage est minimale, est déterminée par modification simultanée de son rayon de courbure et de ses angles d'inclinaison autour de deux axes réciproquement perpendiculaires se trouvant dans un plan perpendiculaire à l'axe de symétrie de la surface, et par transfert parallèle.

6.- Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte des détecteurs de position de la pièce brute, un détecteur de déplacement linéaire de l'organe d'exécution de la machine-outil et un détecteur d'effort utile de pression de l'outil sur la surface à usiner, un ordinateur sur le dispositif d'entrée de données duquel sont branchés les détecteurs de position de la pièce brute, de déplacement linéaire de l'organe d'exécution et de l'effort utile de pression de l'outil, cet ordinateur étant muni d'un circuit de détermination des valeurs instantanées des coordonnées de la pièce brute et du centre de l'outil dans un système de coordonnées liées à la rotation de la pièce brute et

au déplacement linéaire de l'outil le long du diamètre de la pièce à usiner, ce circuit étant relié au détecteur de déplacement linéaire de l'organe d'exécution et au détecteur de position de la pièce brute, un circuit de calcul de l'effort utile de pression de l'outil, correspondant à des valeurs instantanées déterminées des coordonnées sur la surface à usiner, un circuit de formation d'ordres de production par l'organe d'exécution d'efforts utiles en accord avec les valeurs courantes des coordonnées, ce circuit étant mis en série avec le circuit de détermination des valeurs instantanées des coordonnées, un circuit de commande du temps de présence de l'outil sur une série de zones annulaires de toute la surface de la pièce, ce circuit étant relié au détecteur de déplacement linéaire et à la commande électrique de l'organe d'exécution, et un circuit de mesure du temps technologique d'usinage, relié à la commande de l'organe d'exécution et à la commande de rotation de la pièce brute.

7.- Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comporte un circuit de consigne de la quantité spécifique de matériau à enlever de la pièce brute et un circuit de simulation de la quantité de matériau enlevée durant une séance technologique d'usinage, pour préciser les valeurs des actions de commande exercées sur l'outil, ledit circuit de simulation étant relié au circuit de consigne de la quantité spécifique de matériau à enlever et à l'ordinateur.

8.- Pièces optiques, caractérisées en ce qu'elles sont façonnées avec application du procédé faisant l'objet de l'une des revendications 1 à 5.

2448417

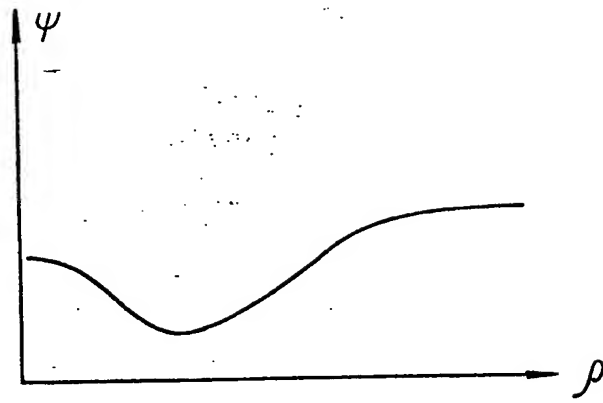


FIG. 1

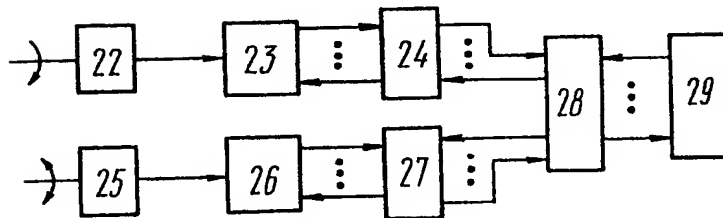


FIG. 4

2448417

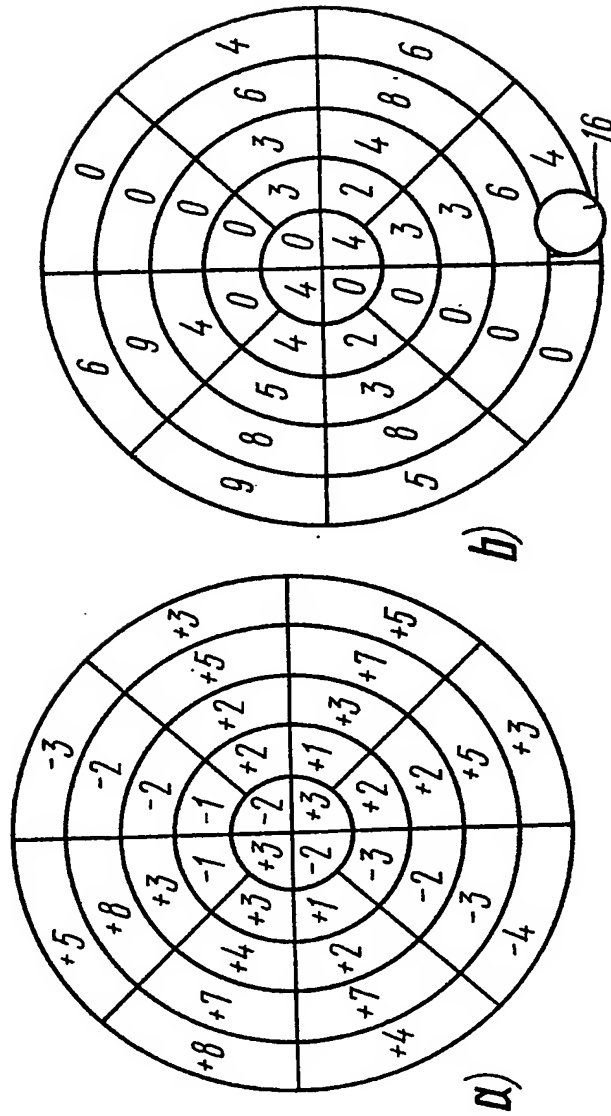
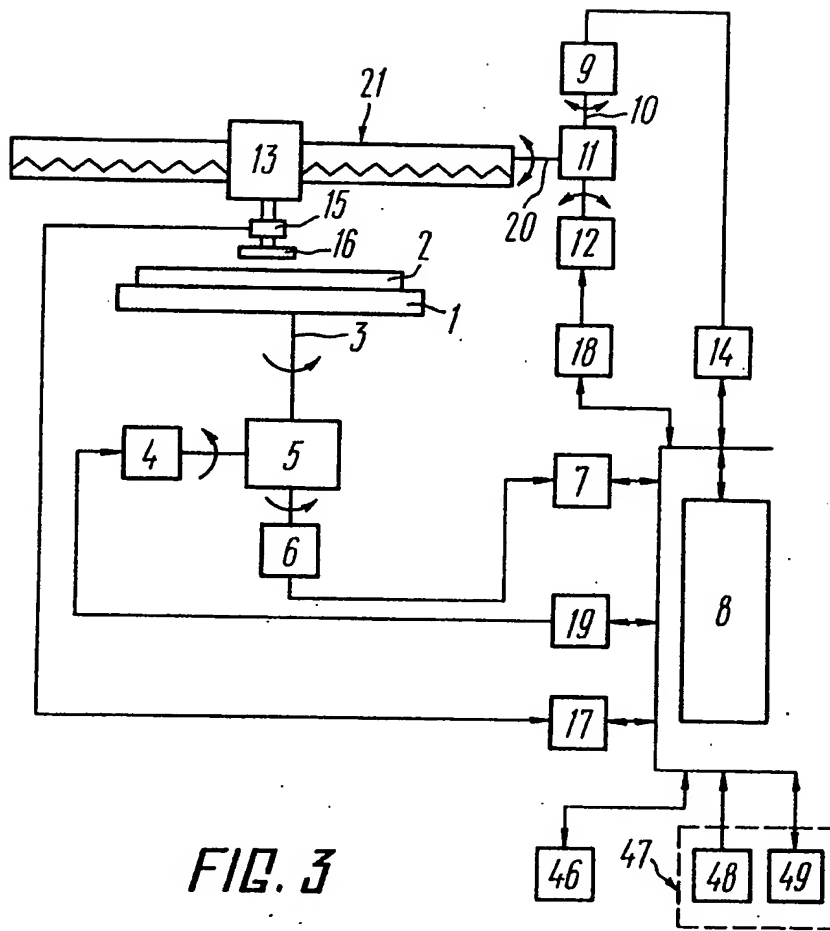


FIG. 2



2448417

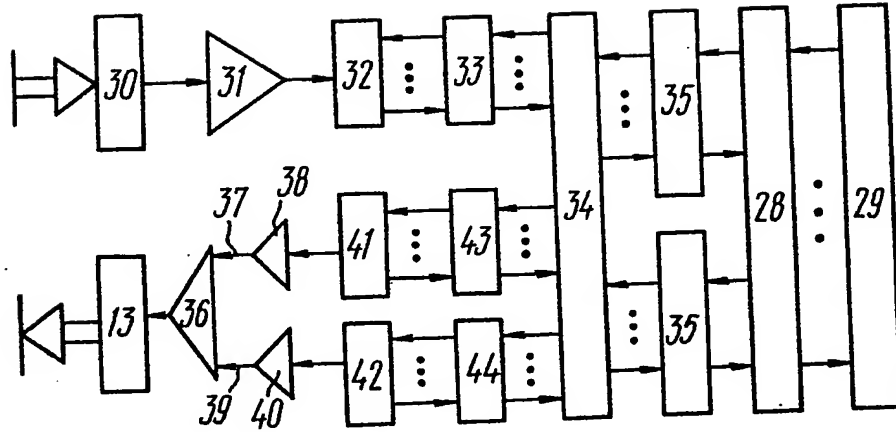


FIG. 5

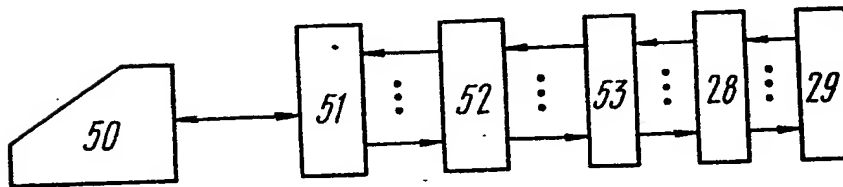


FIG. 6

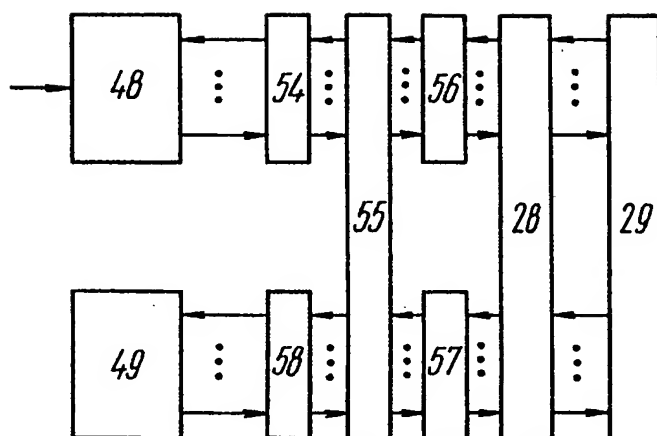


FIG. 7

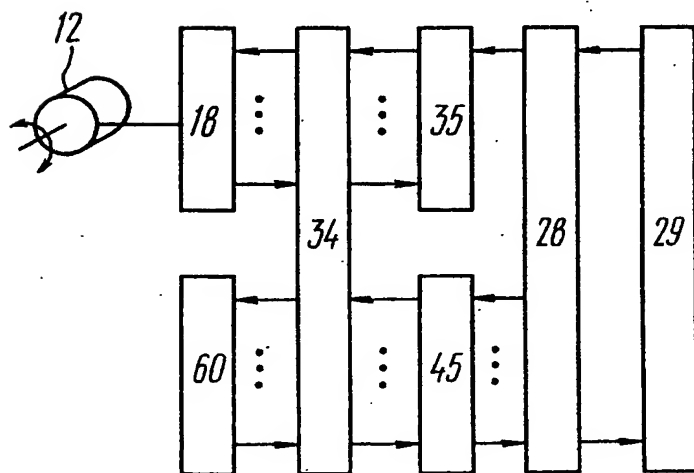


FIG. 8

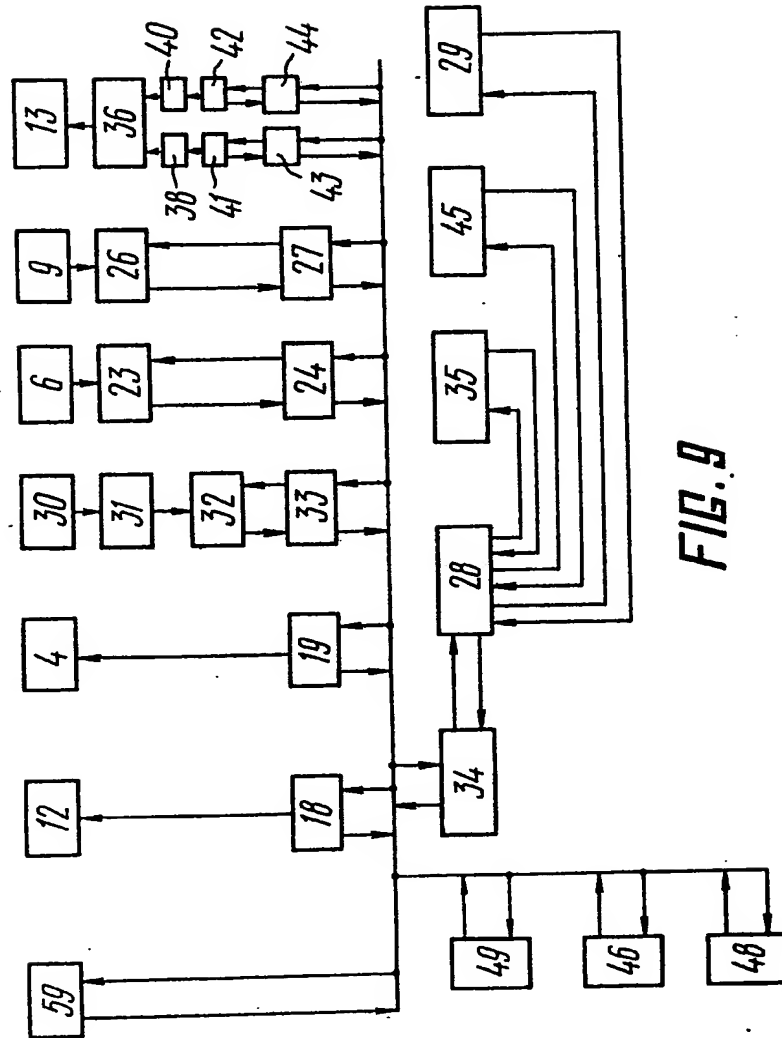


FIG. 9

Family list**6** family members for:**FR2448417**

Derived from 4 applications.

**1 STEUERUNGSMETHODE FUER FERTIGUNGSVERFAHREN ZUR
FORMGEBUNG BEI OPTISCHEN FLAECHEEN OPTISCHER TEILE UND
EINRICHTUNG FUER DEREN DURCHFUEHRUNG**Publication Info: **DE3004386 A1** - 1980-08-14**DE3004386 C2** - 1986-07-24**2 PROCEDE DE COMMANDE AUTOMATIQUE DU REGIME
TECHNOLOGIQUE DE FACONNAGE DE SURFACES OPTIQUES DE
PIECES OPTIQUES, DISPOSITIF POUR LA MISE EN OEUVRE DE CE
PROCEDE ET PIECES AINSI FACONNEES**Publication Info: **FR2448417 A1** - 1980-09-05**FR2448417 B1** - 1981-11-20**3 METHOD OF CONTROLLING PROCESS OF OPTICAL SURFACE
MOLDING AND ITS CONTROLLER**Publication Info: **JP55125972 A** - 1980-09-29**4 METHOD OF FORMATION OF OPTICAL SURFACES**Publication Info: **SU878530 A1** - 1981-11-07

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**PROCEDE DE COMMANDE AUTOMATIQUE DU REGIME TECHNOLOGIQUE DE
FACONNAGE DE SURFACES OPTIQUES DE PIECES OPTIQUES, DISPOSITIF
POUR LA MISE EN OEUVRE DE CE PROCEDE ET PIECES AINSI FACONNEES**

Patent number: FR2448417

Publication date: 1980-09-05

Inventor:

Applicant: INST KOSM I (SU)

Classification:

- International: B24B51/00; B24B13/00; C03C19/00; G02B1/00

- european: B24B13/06

Application number: FR19800002724 19800207

Priority number(s): SU19792722115 19790209

Also published as:



SU878530 (A1)

JP55125972 (A)

DE3004386 (A1)

Abstract not available for FR2448417

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide